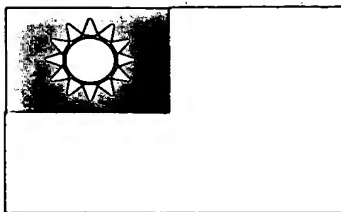


Shyh-Jier WANG et al  
April 16, 2004  
BSKB  
(703) 205-8000  
3313-1158 PUS  
1 of 1



中華民國經濟部智慧財產局

INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE  
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS  
REPUBLIC OF CHINA

茲證明所附文件，係本局存檔中原申請案的副本，正確無訛，  
其申請資料如下：

This is to certify that annexed is a true copy from the records of this  
office of the application as originally filed which is identified hereunder:

申請日：西元 2003 年 12 月 26 日

Application Date

申請案號：092137226

Application No.

申請人：財團法人工業技術研究院

Applicant(s)

局長

Director General

蔡練生

發文日期：西元 2004 年 3 月 15 日

Issue Date

發文字號：09320244880

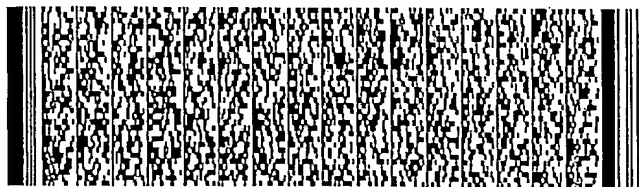
Serial No.

申請日期：	IPC分類
申請案號：	

(以上各欄由本局填註)

# 發明專利說明書

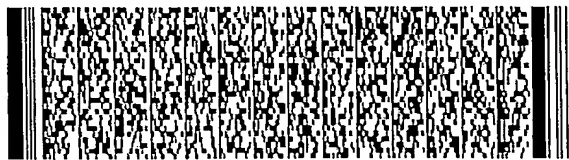
一、 發明名稱	中 文	馬達感應電動勢的量測方法
	英 文	
二、 發明人 (共3人)	姓 名 (中文)	1. 王世杰 2. 林錫寬 3. 謝孟勳
	姓 名 (英文)	1. WANG, SHYH JIER 2. LIN, SHIR KUAN 3. HSIEH, MENG HSUN
	國 籍 (中英文)	1. 中華民國 TW 2. 中華民國 TW 3. 中華民國 TW
	住居所 (中文)	1. 新竹縣竹東鎮中興路四段195號 2. 新竹市大學路1001號 3. 新竹市大學路1001號
	住居所 (英文)	1. No. 195, Sec. 4, Chung-Hsing Rd., Chu-Tung, Hsinchu, Taiwan, R. O. C. 2. No. 1001, Dasyue Rd., Hsinchu City 300, Taiwan (R.O.C.)
三、 申請人 (共1人)	名稱或 姓 名 (中文)	1. 財團法人工業技術研究院
	名稱或 姓 名 (英文)	1. INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE
	國 籍 (中英文)	1. 中華民國 TW
	住居所 (營業所) (中文)	1. 新竹縣竹東鎮中興路四段195號 (本地址與前向貴局申請者相同)
	住居所 (營業所) (英文)	1. No. 195, Sec. 4, Chung-Hsing Rd., Chu-Tung, Hsinchu, Taiwan, R. O. C.
	代表人 (中文)	1. 翁政義
	代表人 (英文)	1. WENG, CHENG I



四、中文發明摘要 (發明名稱：馬達感應電動勢的量測方法)

一種馬達感應電動勢的量測方法，係將馬達操作在單相旋轉模式，並量得馬達三相電壓，即可取得感應電動勢常數。在本發明所揭露的方法中，馬達的旋轉並不需要特別操作在閉迴路(close-loop)，所以馬達可以不需裝設任何編碼器(encoder)來偵測角位移或角速度，也不需事先得知馬達的阻抗或電流大小，較傳統的量測方法更加的經濟、快速。

五、英文發明摘要 (發明名稱：)



六、指定代表圖

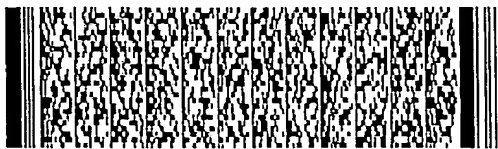
(一)、本案代表圖為：第 1圖

(二)、本案代表圖之元件代表符號簡單說明：

步驟 100以單相模式驅動馬達轉動

步驟 200當馬達轉動到一預定轉速後，測量馬達之  
相電壓

步驟 300根據相電壓及預定轉速之關係式，取得馬  
達感應電動勢



一、本案已向

國家(地區)申請專利

申請日期

案號

主張專利法第二十四條第一項優先權

無

二、☐主張專利法第二十五條之一第一項優先權：

申請案號：

無

日期：

三、主張本案係符合專利法第二十條第一項☐第一款但書或☐第二款但書規定之期間

日期：

四、☐有關微生物已寄存於國外：

寄存國家：

寄存機構：

寄存日期：

寄存號碼：

無

☐有關微生物已寄存於國內(本局所指定之寄存機構)：

寄存機構：

寄存日期：

寄存號碼：

無

☐熟習該項技術者易於獲得, 不須寄存。



## 五、發明說明.(1)

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種馬達感應電動勢的量測方法，特別是一種將馬達操作在單相模式即可測量馬達感應電動勢的量測方法。

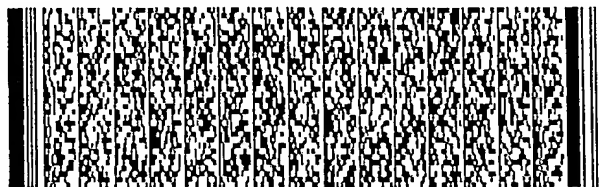
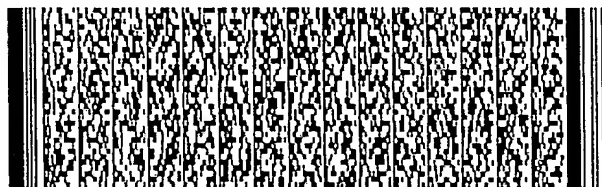
### 【先前技術】

三相永磁馬達又被稱為三相同步馬達 (Permanent Magnet Synchronous Motor) 或三相直流無刷馬達 (D.C brushless motor)，因為其控制性與響應性優越，所以廣被工業界所採用，常見的使用場合如自動化產業中所使用的伺服馬達，辦公室自動化 (OA) 領域中如硬碟機、光碟機上的主軸馬達。

一般三相永磁馬達多為 Y 接結構，依馬達抽線數目的不同可分為三線式與四線式二類。三線式的馬達只抽出三相的繞組來與馬達驅動器 (driver) 相連，一般工廠自動化的伺服馬達多屬於此類。四線式的馬達係除了拉出三相繞組外，同時拉出中性線，一般辦公室自動化領域用的小型永磁馬達則屬此類。

永磁馬達的磁路參數中有一感應電動勢常數  $K_{emax}$  (其值在 M.K.S 單位標示下與扭矩常數相等)，與馬達本身的性能、出力大小與可操作的工作轉速息息相關。先前技術所揭露的測量感應電動勢的方法有下列幾種。

第一種為下線 (off-line) 反電動勢量測法，係利用一顆伺服可控速精準的馬達，與被測試馬達偶合在一起，被測馬達是完全開路，即不與驅動器相接。只要伺服馬達可



## 五、發明說明 (2)

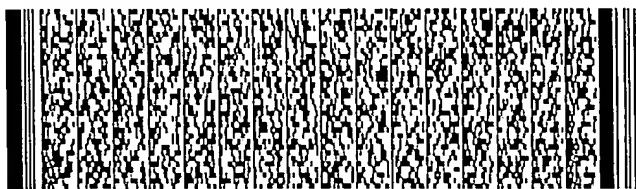
以以電角速度  $r$  定速旋轉，則由被測試馬達的任二相的感應電動勢大小，即可反推出  $K_{\max}$ 。

這個方法存在一些技術上的問題，例如除了須購買一顆昂貴的伺服馬達及其驅動器外，還需另外設計夾製具，讓二顆馬達得以不歪斜的偶合，若歪斜太嚴重，除伺服馬達因負載太大無法順利定速旋轉，待測馬達的軸承也很容易損傷。此外，一些硬碟用的主軸馬達，因採空氣軸承，在偶合另一顆馬達後，氣浮特性就喪失，也無法採用此法量測。

另一種測量方法為即時 (on-line) 的向量控制估測方法。由於伺服永磁馬達上的控制，常常將參考系統架在轉子旋轉座標上，經由系統分析，只要設定  $q$  軸輸入電流為定值與  $d$  軸輸入電流為 0，則馬達會以定扭矩輸出。經過二個閉迴路控制器作電流控制後，待整個迴路進入穩態，即可量得感應電動勢。

然而上述的方法相當耗時與浪費成本，因為此方法需要伺服馬達本身就有數位訊號處理的功能或座標轉換晶片，以處理複雜的座標轉換運算。此外，將這種方法應用於小馬達上時，還需外部接一大堆處理電路，並在馬達上掛上精密編碼器才能實現。甚而，在這個方法中，電流與電阻的量測值誤差，與控制器 (controller) 的設計好壞，也都會影響感應電動勢  $K_{\max}$  的量測值。

而在中華民國專利公告第 488125 號中揭露一種『量測馬達感應電動勢以鑑別轉子充磁好壞的方法』，其實施方



### 五、發明說明 (3)

法是將定子鐵心再繞上幾匝輔助線圈，用以感測轉子磁場的磁通，藉著輔助線圈上感應電動勢，可以反推求得電動勢常數。

此種方法只是針對在生產馬達時，為鑑別轉子元件著磁的好壞，所定子纏繞輔助線圈是特別訂製的，而且馬達旋轉時須以定轉速閉迴路驅動，針對馬達成品，此法並無法鑑別，因為定子無法再進行改裝；若馬達上沒速度感測器的裝置，也無法進行閉迴路控制以提供定速旋轉。

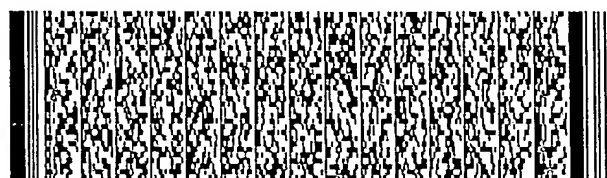
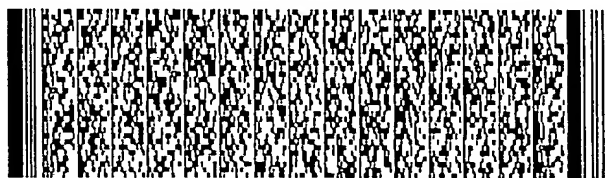
由於感應電動勢常數  $K_{\text{emax}}$  影響到馬達本身的性能、出力大小與操作性，先前技術均無法提出有效的解決方案，因此，一種量測馬達感應電動勢常數的方法遂成為亟待解決的技術課題。

#### 【發明內容】

鑒於以上的問題，本發明的主要目的在於提供一種馬達感應電動勢常數的量測方法，藉以解決先前技術所存在的問題及缺點。

因此，為達上述目的，本發明所揭露之馬達感應電動勢常數的量測方法，以單相模式驅動馬達轉動；當馬達轉動到一預定轉速後，測量該馬達之相電壓；以及根據該相電壓及該預定轉速之關係式，取得該馬達感應電動勢。

本發明所揭露的馬達感應電動勢常數的量測方法乃利用一簡單的方法來量得三相永磁馬達的感應電動勢常數  $K_{\text{emax}}$ ，係將馬達操作在單相旋轉模式，接著只要量得馬達三相電壓，就可鑑別出此常數。特別是，馬達的旋轉並





#### 五、發明說明 (4)

不需要特別操作在閉迴路 (close-loop)，所以馬達可以不需裝設任何編碼器 (encoder) 來偵測角位移或角速度，也不需事先得知馬達的阻抗或電流大小，較傳統的量測方法更加的經濟、快速。因此，可應用於工廠自動化的馬達或小型的辦公室自動化馬達。

有關本發明的特徵與實作，茲配合圖示作最佳實施例詳細說明如下。

#### 【實施方式】

本發明所揭露的馬達感應電動勢的量測方法，請參考『第 1 圖』，係以三相永磁馬達作為實施例，將三相永磁馬達以單相旋轉模式運作（步驟 100），即馬達有一相為永遠開路，如 c 相，而另二相為串聯如，a、b 二相，其相電流大小為相等。此單相旋轉模式的達成，可以由三相驅動器稍加修改，或直接使用單相驅動器驅動馬達所完成。當永磁馬達以單相驅動模式轉到某一轉速後，此轉速並不需要非常穩定，接著量得馬達三相電壓  $v_a$ 、 $v_b$  與  $v_c$ （步驟 200），根據相電壓與轉速以取得一為時間函數的電壓變數，再經過運算即可得到感應電動勢（步驟 300）。

以下說明本發明的原理。

一般而言，三相永磁馬達的電氣數學模型可表示如下：

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & -M & -M \\ -M & L_s & -M \\ -M & -M & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_a \\ \dot{i}_b \\ \dot{i}_c \end{bmatrix} + \frac{P\omega_r K_{e\max}}{2} \begin{bmatrix} \cos\theta_r \\ \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_r - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 五、發明說明 (5)

其中， $v_{as}$ 、 $v_{bs}$ 、 $v_{cs}$ 分別為馬達三相端電壓  $v_a$ 、 $v_b$ 、 $v_c$ 對中性點電壓  $v_s$ 之相對電壓， $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 分別為馬達的三相電流， $P$ 為轉子磁鐵的極數， $r_s$ 、 $L_s$ 、 $M$ 分別為馬達各相的電阻、自感與互感， $\omega_r$ 為轉子的電角轉速， $\theta_r$ 為轉子的電角度， $K_{max}$ 即為馬達電動勢常數。其機械模型可表示為：

$$\begin{aligned} T_e &= K_{max} \left( \left( i_a - \frac{i_b}{2} - \frac{i_c}{2} \right) \cos \theta_r + \frac{\sqrt{3}}{2} (i_b - i_c) \sin \theta_r \right) \\ &= \frac{2J}{P} \omega_r + \frac{2B_m}{P} \omega_r + T_L \end{aligned} \quad (2)$$

其中， $T_e$ 為馬達的輸出扭矩， $J$ 為轉子之慣量 (moment inertia)， $B_m$ 為馬達阻尼常數 (damping ratio)， $T_L$ 為馬達的負載。

若將三相永磁馬達與驅動器的接法如『第2圖』所示，其中驅動器是由三個電橋 Leg1、Leg2、Leg3所組成，每個電橋有二個功率元件，分別是 Tr1與 Tr2、Tr3與 Tr4、以及 Tr5與 Tr6，可以是電晶體、MOSFET、IGBT等。a、b、及 c為三相繞組，s為中性線， $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 分別為馬達

# 五、發明說明 (6)

的三相電流。

當馬達操作在單相旋轉模式時，亦即三相中只有二相通有電流，假設此導通二相為 a、b，而另一相 c 為開路，換言之  $i_a = -i_b = i$ ，而  $i_c = 0$ ，在這種模式操作下，將只有功率元件 Tr3、Tr4、Tr5、Tr6 有發揮功能。因此，上列的電氣與機械的模型方程式可分別改寫為下式：

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ -i \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & -M & -M \\ -M & L_s & -M \\ -M & -M & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i} \\ -\dot{i} \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{P\omega_r K_{emax}}{2} \begin{bmatrix} \cos\theta_r \\ \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_e = \sqrt{3} K_{emax} i \cos\left(\theta_r + \frac{\pi}{6}\right) = \frac{2J}{P} \dot{\omega}_r + \frac{2B_m}{P} \omega_r + T_L \quad (4)$$

由上式可以得知，只要控制驅動器提供的電流  $i$  保持著與  $\cos(\theta_r + \pi/6)$  同相，就可保證輸出扭矩  $T_e > 0$ ，而使馬達不斷旋轉，且  $i$  的大小可隨時間變化沒有限制。若定義一變數  $v(t)$  為時間的函數，並利用 (3) 式所推得如下：

$$v_\omega(t) = K_{emax} \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \omega_r = \left( \frac{v_a + v_b - 2v_c}{-3} \right) \left( \frac{P}{2} \right) \quad (5)$$

則  $K_{emax}$  可由下式得到：

$$K_{emax} = \frac{\max(v_\omega(t))}{\omega_r} \quad (6)$$

## 五、發明說明 (7)

因此，只要量得三相電壓  $v_a$ 、 $v_b$ 、 $v_c$ ，並配合量測出轉速  $r$ ，即可由 (6) 式求得電動勢  $K_{e\max}$ 。而轉速  $r$  可由精密的速度感測器 (sensor)，如位置編碼器 (encoder) 等來量測。並在量測後輸出感應電動勢。

此外，亦可將第 5 式直接積分以量測電動勢。定義一變數  $v(t)$  為時間的函數，且為下所述：

$$\begin{aligned} v_0(t) &= \int v_\omega(\tau) d\tau \\ &= K_{e\max} \sin\left(\theta_r(t) + \frac{2\pi}{3}\right) - K_{e\max} \sin\left(\theta_r(0) + \frac{2\pi}{3}\right) = K_{e\max} \sin\left(\theta_r(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

其中， $v(t)$  為將  $v(t)$  積分， $v_{dc}$  為一直流 (DC) 偏壓的定值，則我們可由下式得到  $K_{e\max}$ ：

$$K_{e\max} = \max(AC(v(t))) \quad (8)$$

第 8 式就是把  $v(t)$  取出交流 (AC) 的分量後，再取其峰值。針對位置編碼器解析度不夠多的小型馬達而言，無法計算出精準的速度，則非常適合使用第 8 式來算出電動勢  $K_{e\max}$ 。

以上的方法亦可適用於當驅動器的輸出電流為 0 的情形，亦即馬達旋轉至某一轉速後，突然將驅動器的電源關掉，若轉子慣量夠大，則馬達將繼續滑行一段時間才停止，則利用滑行期間亦可以第 6 式或第 8 式計算電動勢。



## 五、發明說明 (8)

Kemax。

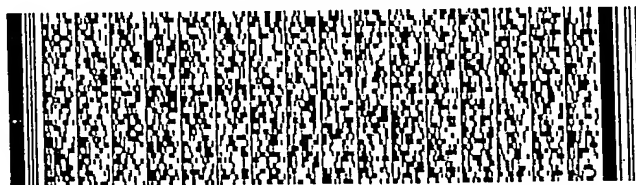
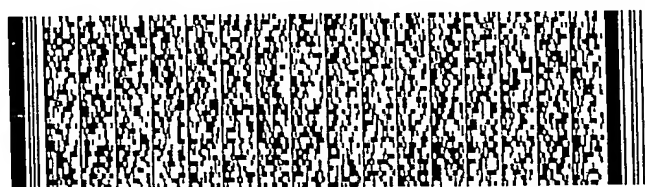
接著再以實際的實施例驗證本發明的原理。

選擇一顆 50 倍速光碟機上的主軸馬達，係屬於直流無刷外轉子馬達，為三線式 Y 接結構，馬達內部有三顆霍爾 (Hall) 元件 Ha、Hb、Hc 用以代替整流子與碳刷，其與轉定子的相關位置如『第 3 圖』所示。藉著霍爾元件可以感測到轉子磁場的特性，驅動器可以藉以正確提供馬達換相電流，使得馬達持續旋轉，此顆馬達的  $P=12$ ，而 Kemax 的磁路設計值為  $0.00475 \text{ Volt}/(\text{rad}/\text{sec})$ 。

三個霍爾元件 Ha、Hb、Hc 各有其相對應的輸出分別為 Ha+、Ha-、Hb+、Hb-、Hc+、Hc-。以 ROHM 所製造的 IC BA6849 來驅動所選擇的馬達。這顆 IC 是以  $180^\circ$  六步方波來驅動，換言之是三相的驅動器。

為了使馬達在單相模式運轉，並需作一些更動與設計，請參考『第 4 圖』，首先馬達的 c 相繞組不能接到驅動器上，且霍爾元件的輸出須做一些電路的修改，才得以輸出到驅動器上。馬達的 a 相繞組與 b 相繞組連接到驅動器 10 上，

馬達上的霍爾元件 Ha 經比較器 20 轉換成數位訊號後輸入驅動器 10，馬達上霍爾元件 Hb 與霍爾元件 Hc 的訊號並沒有用到，而驅動器 10 上 Hb+、Hb-、Hc+、Hc- 的接腳輸入則是靠接腳 Ha 的輸入假造出來，其中接腳 Hc+ 的輸入訊號先經過一放大器 30 再輸入。如此的電路修改，馬達即可以單相旋轉，且三相激磁的六個換相狀態變成只有單相激



#### 五、發明說明 (9)

磁的兩個換相狀態。

三相操作時霍爾元件的輸出信號請參考『第4圖』，彼此相差120電角，單相操作時驅動器接受的輸入信號請參考『第6圖』。

為了讓馬達在單相模式下操作，我們不可以把『第4圖』的信號直接輸入到馬達驅動器內，需經由如『第4圖』電路的修改，得到了『第6圖』的信號，再將其輸入到驅動器內。如此，可得到『第7圖』的結果，分別說明單相操作時a相繞組電流 $i$ 與時間關係以及 $(H_a+-H_a-)$ 與時間關係，其中 $(H_a+-H_a-)$ 的正與負邏輯正好作為相電流 $i$ 轉態的依據，從圖中可以發現相電流 $i$ 的週期為360電角，而且正、負電流對稱，驗證馬達的確操作在單相模式。

單相操作時 $v_\omega$ 與時間關係以及 $v_\theta$ 與時間關係請參考『第8圖』，其中 $v_\theta$ 是將 $v_\omega$ 以數位積分器積分所得，可以發現 $v_{dc} = -0.00468 \text{ V}$ ，且由第8式中可得 $K_{\max} = 0.00465 \text{ Volt}/(\text{rad}/\text{sec})$ ，與規格相當的接近。

因此，藉由本發明所揭露的量測方法，可用來檢驗轉子永磁著磁的強度足夠與否。或是應用於自動檢測馬達 $K_{\max}$ 的機台，作為選擇馬達或控制器設計的參考。此外，亦可應用於萬用型驅動器自我診斷的程序內，來找出此驅動器所接上的馬達 $K_{\max}$ 的大小，以供控制器自我調校用(auto-turning)。

雖然本發明以前述之較佳實施例揭露如上，然其並非



五、發明說明 (10)

用以限定本發明，任何熟習相像技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作些許之更動與潤飾，因此本發明之專利保護範圍須視本說明書所附之申請專利範圍所界定者為準。



圖式簡單說明

第 1 圖，本發明所揭露的馬達感應電動勢的量測方法之流程圖；

第 2 圖，係為三相永磁馬達與其驅動器接法之電路示意圖；

第 3 圖，係為受測馬達之轉定子相對位置與霍爾元件之示意圖；

第 4 圖，係為使馬達操作於單相模式之電路圖；

第 4 圖，係為三相操作時霍爾元件的輸出信號；

第 6 圖，係為單相操作時驅動器接受的輸入信號；

第 7 圖，係為單相操作時相電流  $i$  與時間關係以及霍爾元件的電壓與時間關係；以及

第 8 圖，係為單相操作時  $v$  與時間關係以及  $v$  與時間關係。

【圖式符號說明】

步驟 100 以單相模式驅動馬達轉動

步驟 200 當馬達轉動到一預定轉速後，測量馬達之相電壓

步驟 300 根據相電壓及預定轉速之關係式，取得馬達感應電動勢

10 驅動器

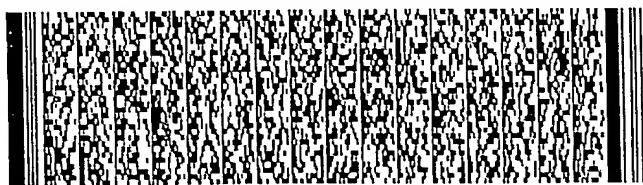
20 比較器

30 放大器

ia 相電流

ib 相電流

ic 相電流





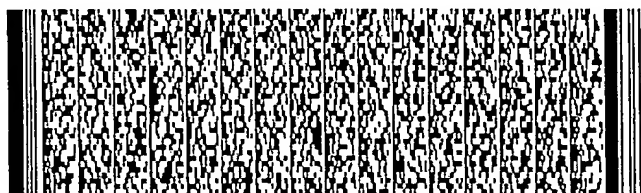
圖式簡單說明

a	a相 繞 組
b	b相 繞 組
c	c相 繞 組
s	中 性 接 線
Leg1	電 橋
Leg2	電 橋
Leg3	電 橋
Tr1	功 率 元 件
Tr2	功 率 元 件
Tr3	功 率 元 件
Tr4	功 率 元 件
Tr5	功 率 元 件
Tr6	功 率 元 件
Ha	霍 爾 元 件
Hb	霍 爾 元 件
Hc	霍 爾 元 件



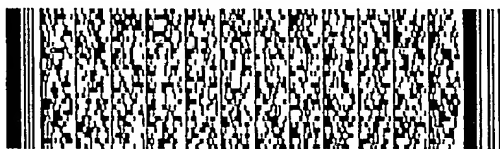
## 六、申請專利範圍

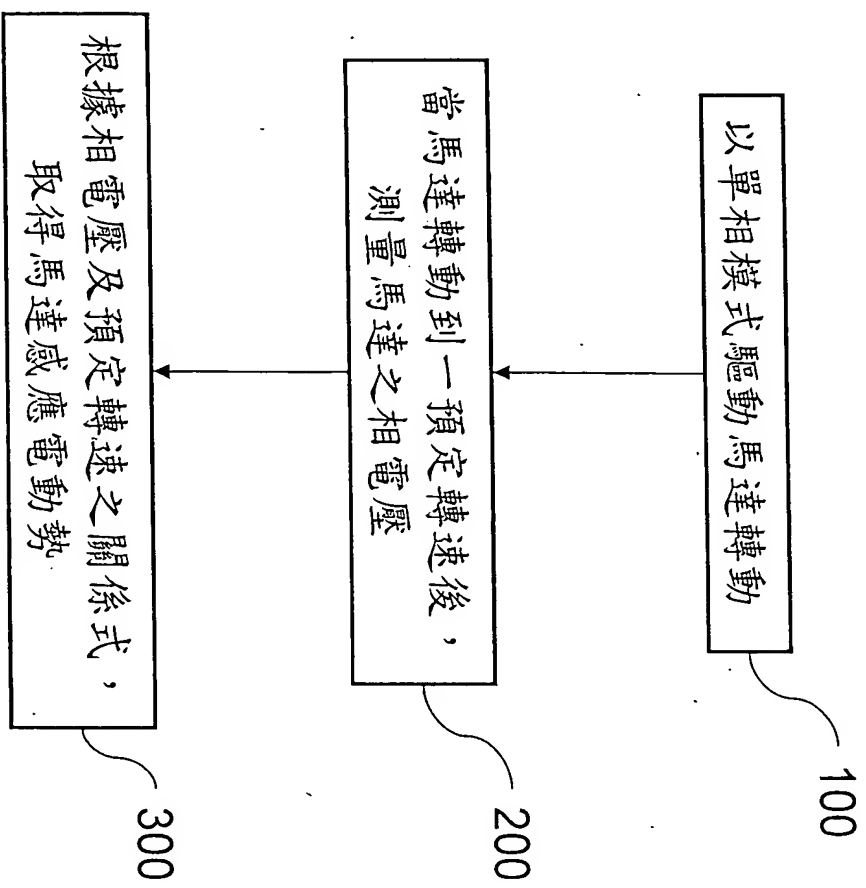
1. 一種馬達感應電動勢的量測方法，包括有下列步驟：  
以單相模式驅動該馬達轉動；  
當該馬達轉動到一預定轉速後，測量該馬達之相電壓；以及  
根據該相電壓及該預定轉速之關係，取得該馬達感應電動勢。
2. 如申請專利範圍第 1 項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中該馬達係為三相永磁式馬達。
3. 如申請專利範圍第 2 項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中一相為開路，其餘二相為串聯。
4. 如申請專利範圍第 1 項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中該相電壓及該預定轉速之關係為  $v_a = K_{\max} \sin(r)$ 、 $v_b = K_{\max} \sin(r + 120^\circ)$ 、 $v_c = K_{\max} \sin(r + 240^\circ)$ ，其中  $v_a$ 、 $v_b$ 、 $v_c$  為該馬達之三相電壓， $r$  為該馬達之轉速， $K_{\max}$  為該馬達電動勢， $r$  為該馬達轉子的電角度。
5. 如申請專利範圍第 4 項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中該感應電動勢係由一速度編碼器輸出。
6. 如申請專利範圍第 4 項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中該感應電動勢係為該相電壓及該預定轉速之關係積分後之交流峰值。
7. 如申請專利範圍第 1 項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中該單相模式係由一三相驅動器驅動。
8. 如申請專利範圍第 7 項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中當該馬達轉動到一預定轉速後，該驅動器繼續提供電流。



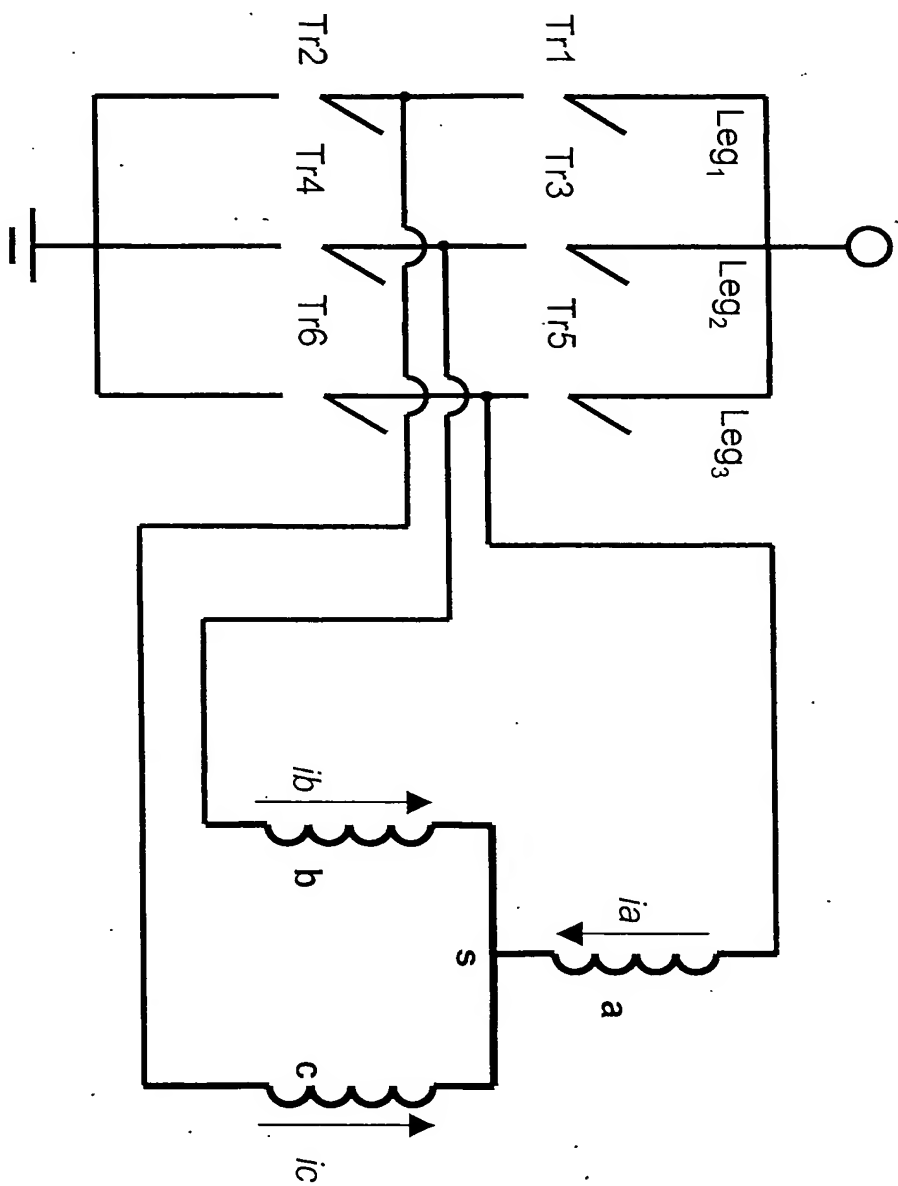
六、申請專利範圍

- 9.如申請專利範圍第7項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中當該馬達轉動到一預定轉速後，該驅動器停止提供電流。
- 10.如申請專利範圍第1項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中該單相模式係由一單相驅動器驅動。
- 11.如申請專利範圍第10項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中當該馬達轉動到一預定轉速後，該驅動器繼續提供電流。
- 12.如申請專利範圍第10項所述之馬達感應電動勢的量測方法，其中當該馬達轉動到一預定轉速後，該驅動器停止提供電流。

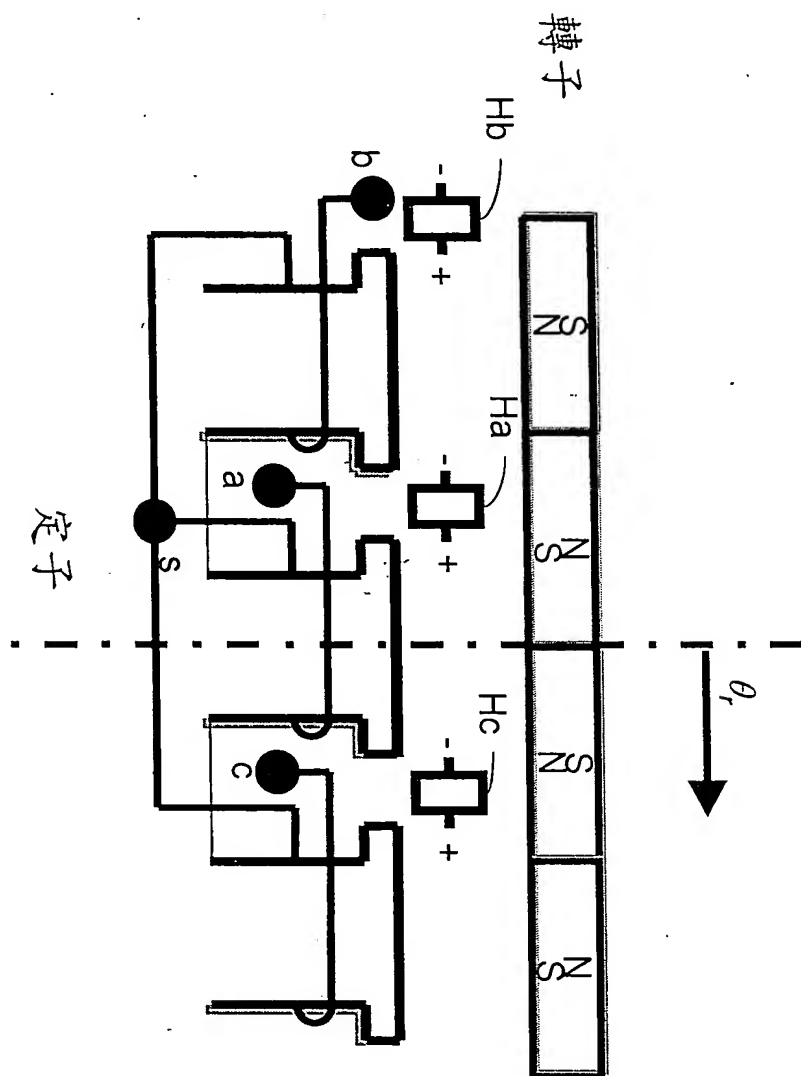




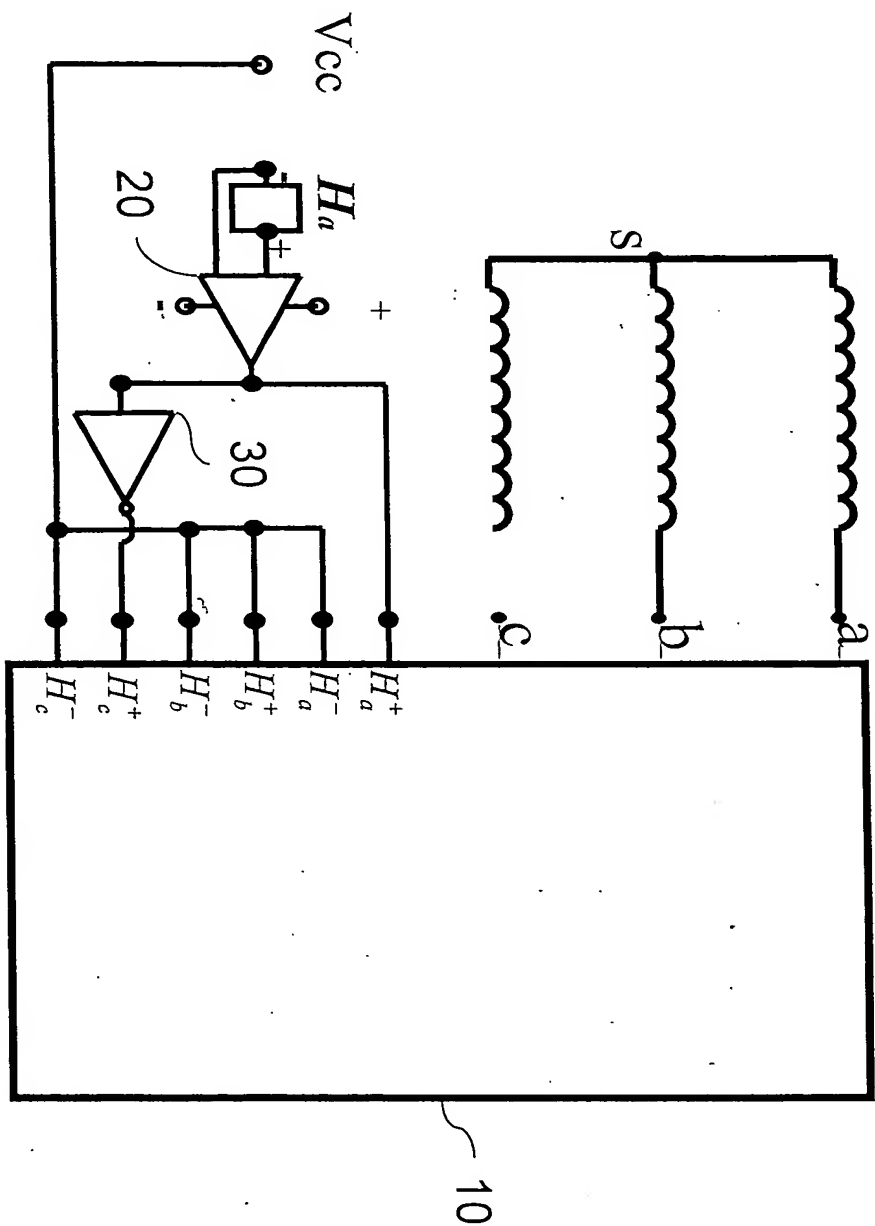
第1圖



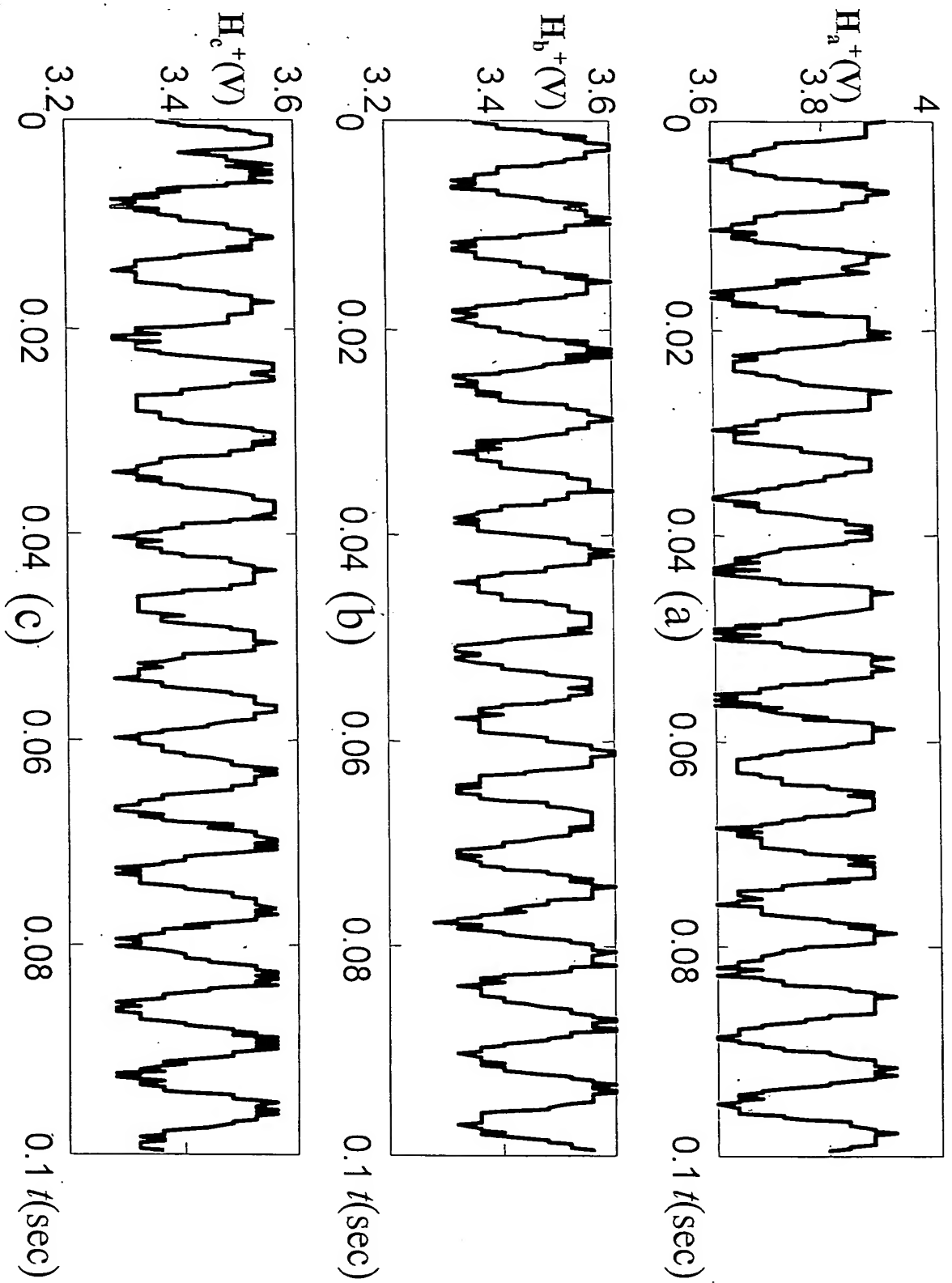
第2圖



第3圖

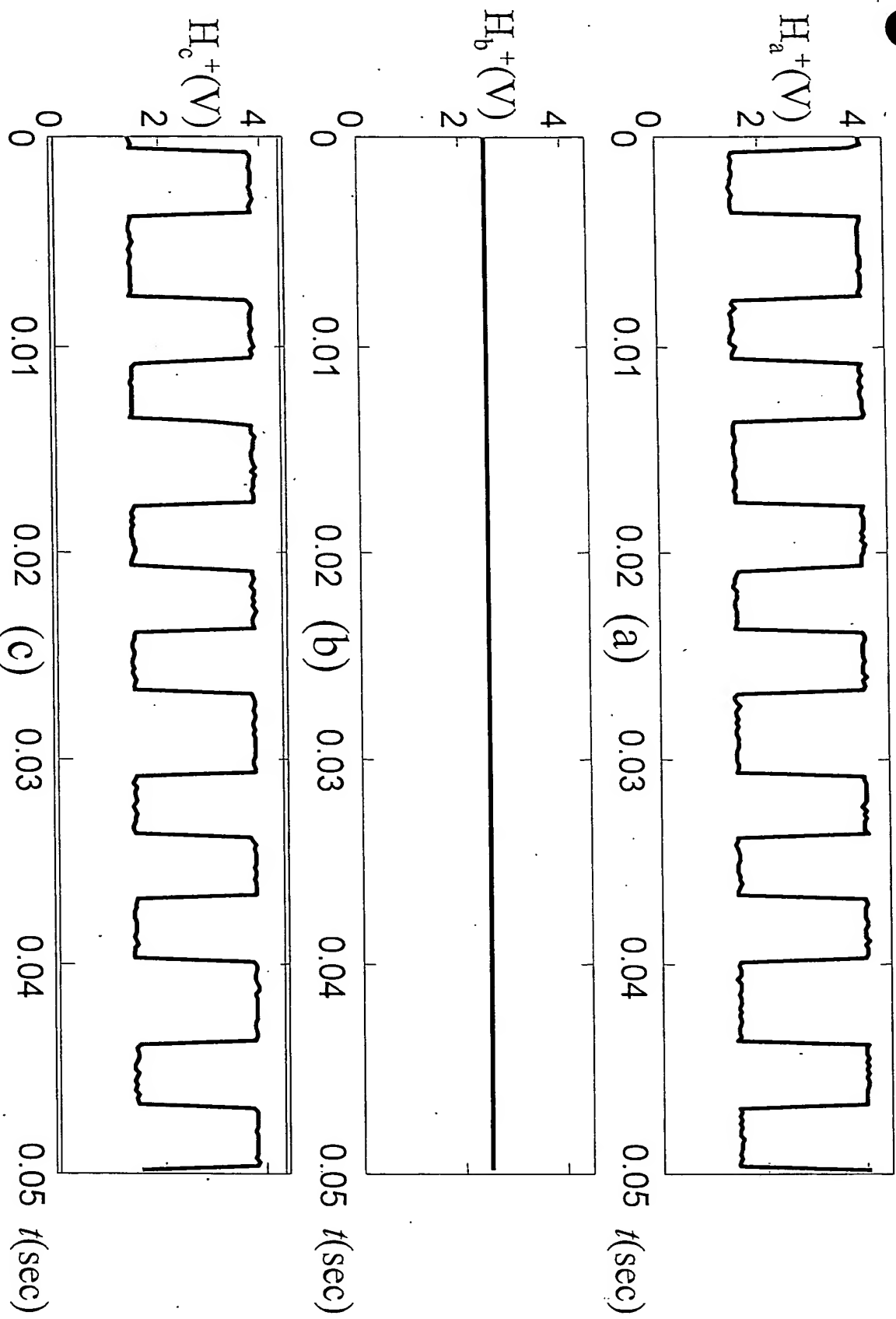


第4圖

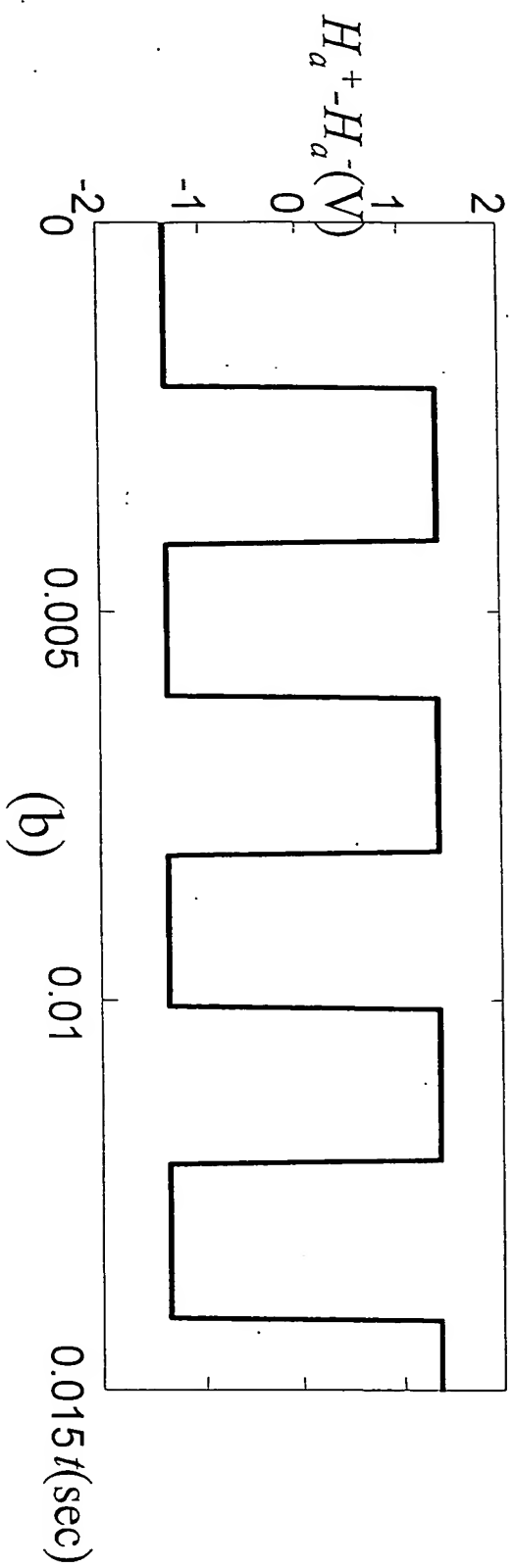
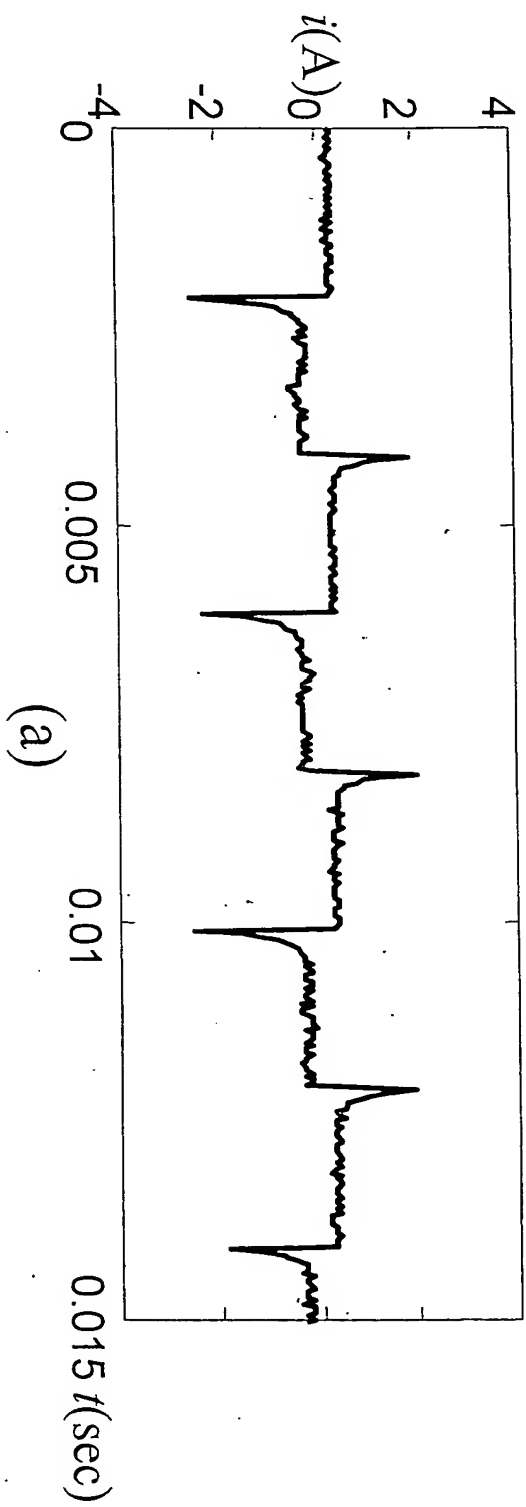


第5圖



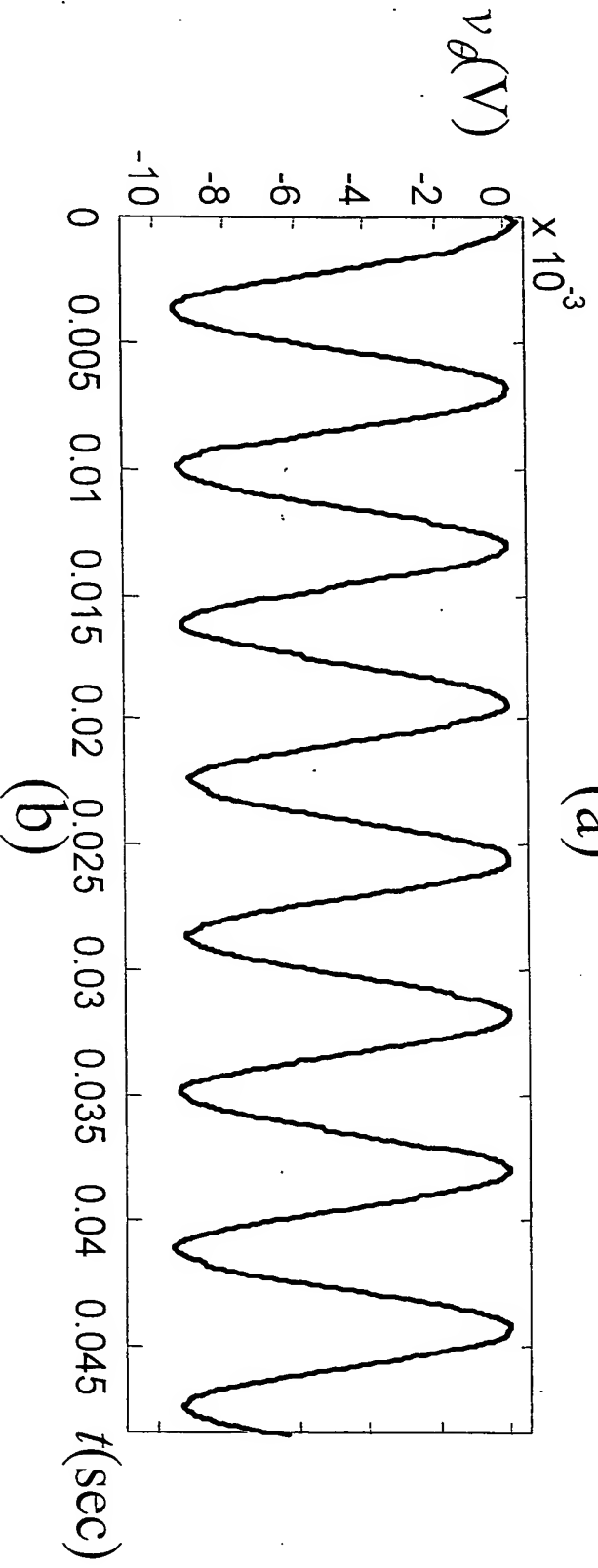
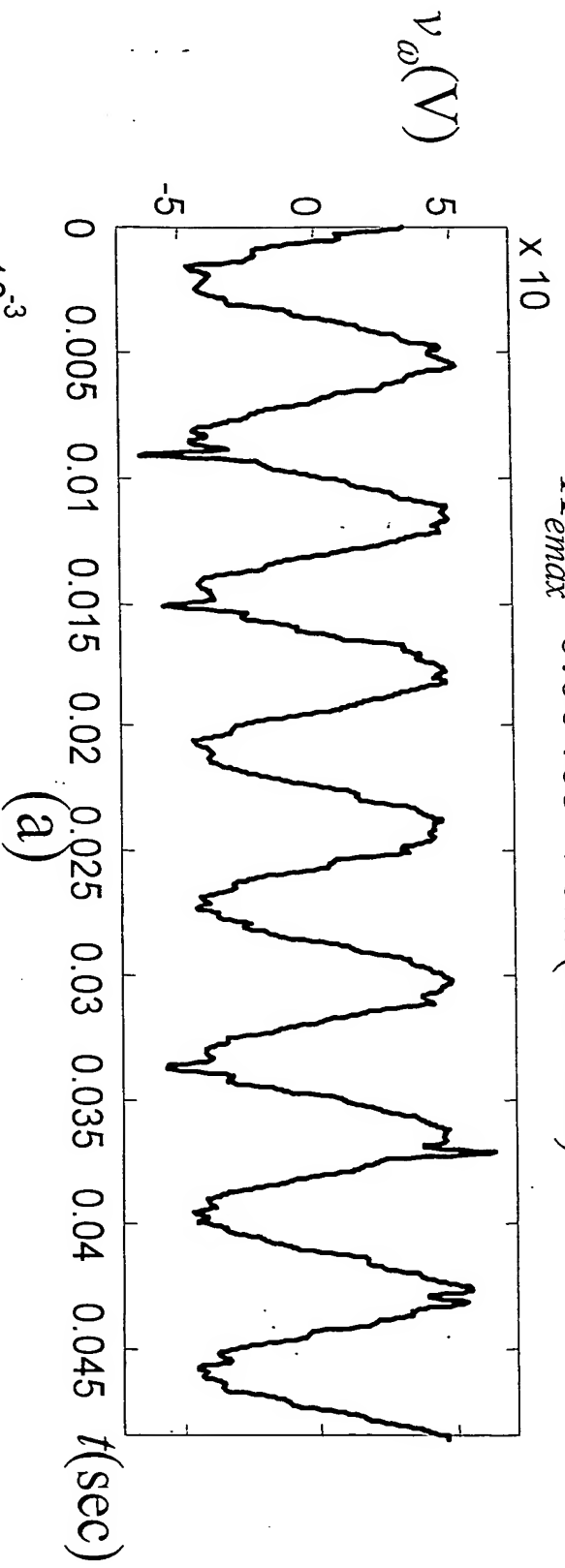


第6圖



第7圖

$$K_{emax}=0.00465 \text{ Volt/(rad/sec)}$$



第8圖

第 1/18 頁



第 2/18 頁



第 3/18 頁



第 4/18 頁



第 5/18 頁



第 5/18 頁



第 6/18 頁



第 6/18 頁



第 7/18 頁



第 7/18 頁



第 8/18 頁



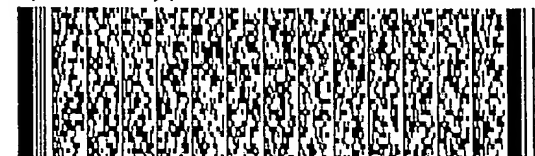
第 8/18 頁



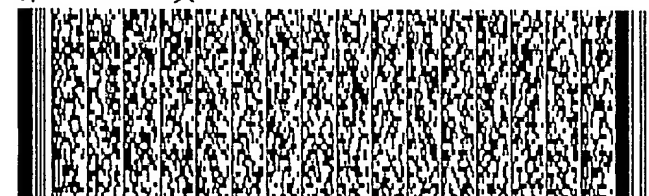
第 9/18 頁



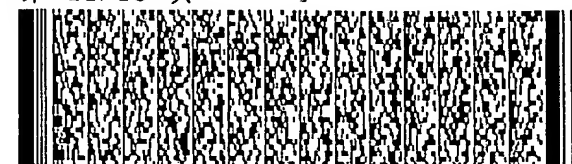
第 9/18 頁



第 10/18 頁



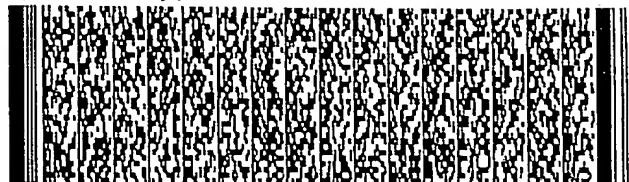
第 11/18 頁



第 11/18 頁



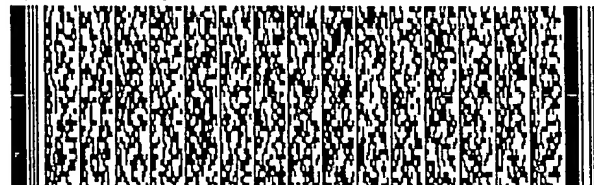
第 12/18 頁



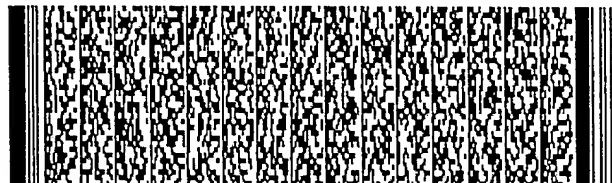
第 12/18 頁



第 13/18 頁



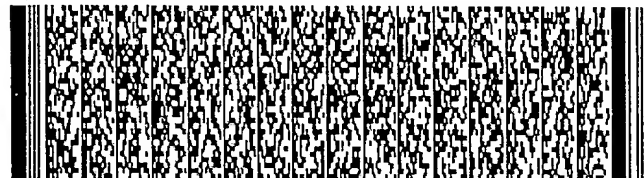
第 13/18 頁



第 14/18 頁



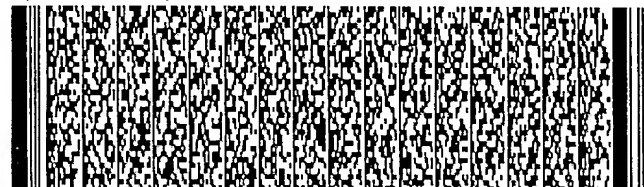
第 15/18 頁



第 16/18 頁



第 17/18 頁



第 18/18 頁

